На правах рукописи

МОЛДОВАН АНАСТАСИЯ

КОМПЛЕКСНАЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОРТООБРАЗЦОВ КЕРВЕЛЯ (*ANTHRISCUS CEREFOLIUM* (L.) HOFFM.) И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ

Специальность:

4.1.4 – Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата сельскохозяйственных наук

Москва - 2026

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный научный центр овощеводства» (ФГБНУ ФНЦО) в 2019-2023 годы.

Научный руководитель: **Харченко Виктор Александрович**

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией селекции и семеноводства зеленных, пряновкусовых и цветочных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»

Официальные оппоненты: **Маланкина Елена Львовна**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры овощеводства ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет-МСХА им. К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева)

Циунель Михаил Мечиславович

кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий отделом селекции и семеноводства зеленных культур и корнеплодов ООО «НПО «Гавриш»

Ведущая организация: **ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»**

Защита состоится « 19 » мая 2026 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.256.01, созданного на базе ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» по адресу: 143080, Московская область, Одинцовский г. о., пгт. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14, тел.: (495) 599-24-42 E-mail: vniissok@mail.ru, aspirantura@vniissok.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» и на сайте www.vniissok.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.256.02,
кандидат сельскохозяйственных наук Пинчук Елена Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. В настоящее время, в связи с ухудшением экологического состояния, изменением климата и постоянными стрессами, в пищевой промышленности возрастает интерес к получению функциональных продуктов питания с биологически активными компонентами и антиоксидантами. В последние годы появляется все больше исследований о роли микроэлементов вообще и селена (Se) и йода (I), в частности, в предотвращении оксидантного стресса в организме. Se и I являются эссенциальными микроэлементами для человека и полезны для растений, главным образом из-за их участия в росте и развитии всех живых существ, антиоксидантных свойств, повышении иммунитета и защиты от биотических и абиотических стрессов (Golubkina et al., 2021). Дефицит I и Se распространен во многих регионах мира, увеличивая риск вирусных (включая COVID-19), онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний, негативно влияя на фертильность и ограничивая когнитивные способности (Голубкина, Папазян, 2006; Rayman, 2000). И Se, и I являются компонентами 3-йодтирониндейодиназ, таким образом, принимая активное участие в выработке и функционировании гормонов щитовидной железы (Голубкина, Папазян, 2006; Bilal et al., 2017).

В настоящее время общепризнано, что наиболее эффективными и экономически выгодными условиями оптимизации селенового и йодного статуса населения является производство зеленных культур, обогащенных микроэлементами (Duborská et al, 2022). Возможность использования зеленных культур в свежем виде исключает возможные потери микроэлементов при высушивании, а высокое содержание антиоксидантов создают предпосылки производства новых функциональных продуктов питания. Среди зеленных культур кервель занимает особое положение, с одной стороны, как растение высокой биологической активности, с другой - как сравнительно мало распространенная сельскохозяйственная культура. Короткий вегетационный период, возможность круглогодичного

выращивания, неприхотливость к освещению и уникальный вкус предполагают необходимость введения его в список наиболее перспективных зеленных культур и разработки технологии получения продукции, обогащенной йодом и селеном.

Чувствительность растений не аккумуляторов к высоким концентрациям Se и I, и фрагментарность сведений о взаимосвязи указанных микроэлементов в растениях и их влияния на пищевую ценность и минеральный состав определяют важность оценки перспективности получения кервеля, обогащенного I и Se, и выявления путей оптимизации технологии биоаккумулирования микроэлементов.

Степень разработанности темы. Стратегия научно-технического развития Российской Федерации № 642 от 01.12.2016 г предусматривает получение научных и научно-технических результатов, необходимых для создания безопасных и качественных продуктов питания, обеспечивающих здоровье населения. Дефицит Se и I широко распространен в мире и России, снижая иммунитет, увеличивая риски хронических заболеваний и снижая активность мозга. Решение этой проблемы может быть осуществлено обогащением овощных культур Se и I. Первые исследования в этой области выявили сложные взаимосвязи между Se и I, необходимость подбора оптимальных доз и химических форм микроэлементов, специфичных для каждой сельскохозяйственной культуры (Germ et al, 2020; Smolen et al, 2019). В современной научной литературе практически не исследованы закономерности одновременного обогащения Se и I зеленных культур, не изучены факторы, влияющие на эффективность обогащения, урожай и антиоксидантный статус растений.

Цель исследований – оценить хозяйственно-биологические показатели сортообразцов кервеля (*Anthriscus cerefolium* (L.) Hoffm.) на базе ФГБНУ ФНЦО и разработать технологию получения функциональных продуктов питания на их основе, обогащенных селеном (Se) и йодом (I).

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи:**

1. дать комплексную хозяйственно-биологическую оценку коллекционных сортообразцов кервеля на экспериментальной базе ФГБНУ ФНЦО;

2. охарактеризовать пищевую ценность сортообразцов кервеля, как компонента семейства *Apiaceae* по сравнению с другими представителями сельдерейных культур (взрослых растений и семян);

3. выявить особенности раздельного и совместного обогащения Se и I кервеля;

4. установить особенности влияния нано частиц и ионной формы кремния в виде удобрения Силиплант на эффективность обогащения кервеля I и Se;

5. установить влияние внекорневого внесения I и Se на накопление биологически активных соединений, эссенциальных элементов растений и качество семян.

Научная новизна. Дана комплексная хозяйственно-биологическая оценка коллекционных сортообразцов кервеля с выделением генотипов с высокой урожайностью, ценным биохимическим составом, высокими товарными качествами продукции. Был создан новый сорт кервеля Огородник, с высокой продуктивностью и повышенным содержанием биологически активных веществ (патент 12414 от 14.11.2022). Установлены достоверно более высокие уровни каротина в листьях кервеля по сравнению с лесным купырем (*Anthriscus sylvestris* L.), петрушкой, сельдереем и скрытницей японской (Мицуба). Выявлено взаимное стимулирование накопление I и Se кервелем при внекорневом обогащении солями Se и I. Показана возможность двукратного повышения антиоксидантного статуса семян кервеля при обогащении растений Se. Впервые установлен ростостимулирующий эффект микродоз нано частиц кремния (нано-Si) и стимулирующее действие на накопление антиоксидантов, Se и I растениями при менее выраженном

эффекте для ионной формы Si. Впервые установлены значимые корреляционные взаимосвязи между Fe, Mn, Co, Cr и V в растениях, обогащенных I и Se.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическое и практическое значение диссертационного исследования состоит в:

- комплексной хозяйственно-биологической оценке сортообразцов кервеля с последующим созданием нового сорта кервеля Огородник на базе ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (авторское свидетельство № 84345 от 14.11.2022);

- разработке технологии получения функционального продукта питания кервеля, обогащенных Se и I, путем использования микро доз нано частиц Si и ионной формы Si в составе удобрения Силиплант,

- установлении взаимного стимулирования накопления Se и I кервелем при внекорневом внесении KI и Na_2Se0_4,

- создании нового функционального продукта питания с повышенным содержанием Se, I и антиоксидантов,

- осуществлении количественной оценки пищевой ценности семян 12 видов сельдерейных культур.

Методология и методы исследования. Методологический подход основан на анализе научной литературы, определении цели, постановке задач и разработке программы исследований, системном подходе к решению проблемы, основанном на селекции кервеля и обогащении растений I и Se на фоне применения ионных и нано форм Si. В работе использованы стандартные и специальные методы биохимического и элементного анализа,
статистический анализ экспериментальных результатов.

Материалом исследования по комплексной оценке стали коллекционные сортообразцы кервеля на базе лаборатории селекции и семеноводства зеленных, пряновкусовых и цветочных культур ФГБНУ ФНЦО.

Основные положения, выносимые на защиту:

- оценка коллекционных сортообразцов кервеля с последующим созданием нового сорта кервеля, характеризующегося высокой урожайностью и высоким антиоксидантным статусом;
- разработка новой технологии обогащения кервеля I и Se с использованием микро доз нано-Si и ионной форм Si в составе удобрения Силиплант;
- ростостимулирующий эффект нано-Si, положительное влияние на урожай, накопление Se и I и качество продукции;
- взаимное усиление аккумулирования кервелем I и Se при внекорневом внесении микроэлементов без и на фоне использования нано-Si;
- значимые корреляционные взаимосвязи между Fe, Mn, Co, V и Cr в кервеле, обогащенном I и Se.

Степень достоверности. Обоснованность выводов и надёжность рекомендаций для производства подтверждаются обширными полевыми и лабораторными опытами, а также комплексным подходом к работе. Достоверность обеспечивается точностью лабораторных анализов и подкрепляется математической обработкой данных. Результаты опубликованы в журналах из списка ВАК Министерства науки и высшего образования РФ и представлены на конференциях.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены на ежегодных отчётных сессиях в ФГБНУ ФНЦО (2019-2023 гг.); на следующих конференциях: VII международной научно-практической конференции «Современные тенденции в селекции, семеноводстве и товарном производстве овощных, бахчевых и цветочных культур» (ВНИССОК, 2020 г.); 24-ая и 25-ая Международные Пущинские школы-конференции молодых ученых (Пущино, 2020 г., 2022г.); Международной научно-практической конференции «Ароматические и лекарственные растения: интродукция, селекция, агротехника, биологически активные вещества, влияние на человека» (Ялта, 2021 г.); XII Международной биогеохимической школы, посвященной 175-летию со дня рождения В. В. Докучаева (Тула, 2021 г.);

Международной конференции «Проблемы загрязнения объектов окружающей среды тяжелыми металлами», Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого, 2022; Международной научной конференции «Агробиотехнология-2021», МГСХА (Москва, 2021 г.).

Публикация результатов исследований. Материалы диссертации изложены в 22 публикациях, из которых 6 статьи в журналах, рецензируемых в Scopus, WOS (Q1), 8 статей в журналах, рекомендуемых ВАК РФ, 8 статей - в сборниках конференций, входящих в РИНЦ. Также опубликована глава в монографии на английском языке (изд. Elsevier) и глава в книге «Стандарты организации на семена, ТТПР их производства и овощную продукцию». Получен один патент на новый сорт кервеля, утвержден ОСТ на чипсы из корнеплодов сельдерея, пастернака и петрушки.

Личный вклад соискателя состоит в анализе литературных данных, разработке цели, задач и программы исследований, разработке и выполнении методик исследований, получении экспериментальных данных, анализе результатов исследований и подготовке публикаций, разработке технологии производства функционального продукта питания - кервеля, обогащенного йодом и селеном.

Структура и объём диссертационной работы. Объем и структура работы. Диссертационная работа изложена на 172 страницах компьютерного текста, включает введение, обзор литературы, экспериментальную часть, заключение, рекомендации производству, список сокращений и условных обозначений, список использованной литературы, содержащий 251 источник, в том числе 239 на иностранном языке. Работа содержит 35 таблиц, 29 рисунок и 5 приложений.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Обзор литературы включает анализ научно-технических литературных данных о современном состоянии исследований обогащения зеленных культур I и Se, как путь оптимизации селенового и йодного статуса населения и включает обсуждение кервеля как перспективного объекта обогащения, а

также методы раздельного и совместного обогащения растений I и Se. На основании данных обзора определены основные направления исследований, сформулированы цели и задачи.

2. УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Место проведения исследований ФГБНУ «Федеральный Научный Центр Овощеводства».

В работе использовались методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность кервеля, а также отраслевые стандарты на делянки и схемы посевов.

Биометрические измерения и весовой учет проводили по 30 растениям в каждой повторности.

Метеорологические условия вегетационных периодов (2019-2023 гг.) оценивать по данным метеостанции Немчиновка.

Работа проводилась в условиях открытого грунта в селекционном питомнике, в питомнике размножения и питомнике конкурсного сортоиспытания ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства». Экспериментальные поля находятся в Московской области (55°39.51'N, 37°12.23'E), характеризуются дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвой с pH 6.8 и содержанием органического вещества 2.1%, азота - 1.1 г/кг, P_2O_5 - 0.045 г/кг.

Метод исследования вегетационный лабораторно-полевой. Селекционная работа с культурой кервеля садового в ФГБНУ ФНЦО была начата в лаборатории селекции и семеноводства зеленных и пряновкусовых культур в 2010 году и продолжена в настоящем исследовании. В работе использовали интродукцию, индивидуальный и семейственный отборы. Работа по оценке хозяйственно полезных признаков проводилась в 2019-2022 годы. В качестве стандарта использовали районированный сорт кервеля садового Каприз.

На основе лабораторно-аналитического центра ФГБНУ ФНЦО осуществляли анализ биохимических показателей антиоксидантного статуса

растений, содержания водорастворимого белка и элементный анализ методами ИСП-МС (23 элемента), ААС, флуорометрическим методом (Se) и вольтамперометрическим методом (йод) (Голубкина и др., 2021).

Представлены данные средних показателей за 2020-2022 гг. Математическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программы Excel. Достоверность различий между показателями оценивалась с использованием теста Дункана и компьютерной статистической программы Excel.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Урожайность и период вегетации

По результатам конкурсного сортоиспытания трёх перспективных сортообразцов кервеля садового в 2020-2021 годах по сравнению с районированным сортом Каприз выделился сортообразец №21-20, который превзошёл стандарт по урожайности в 1,8 и 2,0 раза по годам испытания соответственно и характеризовался более ранним наступлением фазы хозяйственной годности по сравнению со стандартом на 5 суток (табл.1).

Таблица 1- Результаты конкурсного сортоиспытания перспективных сортообразцов кервеля садового для овощного использования, 2020-2021 годы

Сорт, сортообразец	Период от всходов до начала хозяйственной годности, сутки		Урожайность зелени, кг/м^2	
	2020 год	2021 год	2020 год	2021 год
Каприз*	50	55	1.41 d	1.21 e
21-20	45	50	2.53 a	2.40 a
22-20	53	57	1.83 b	1.75 c
24-20	48	54	2.10 a	1.85 b

* - стандарт; здесь и далее значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p<0.05$

Сортообразец № 21-20 отличался от других сортообразцов более высоким уровнем витамина С, сильной ароматичностью и более нежной консистенцией листьев, что характеризовало высокую товарность продукции. Данный сортообразец кервеля в 2021 году был передан в Госкомиссию под названием Огородник для включения в Государственный реестр селекционных достижений.

3.2. Биохимическая характеристика

Для оценки пищевой ценности и межсортовой вариабельности биометрических и биохимических показателей использовались три сортообразца кервеля садового (21-20, 22-20 и 24-20), дикий вид кервеля - лесной купырь A. sylvestris, а также коллекция сельдерейных культур ФНЦО: сельдерей листовой, корневой и черешковый, петрушка листовая и корневая, и Мицуба. Результаты биохимического анализа трех сортообразцов садового кервеля выявили сравнительно высокие уровни содержания фотосинтетических пигментов, аскорбиновой кислоты, полифенолов и флавоноидов и высокую антиоксидантную активность. Отличительной особенностью кервеля по сравнению с исследованными представителями семейства Apiaceae явилось существенно более высокое содержание каротина, что определяет высокую значимость кервеля как лекарственного растения (Рис.1).

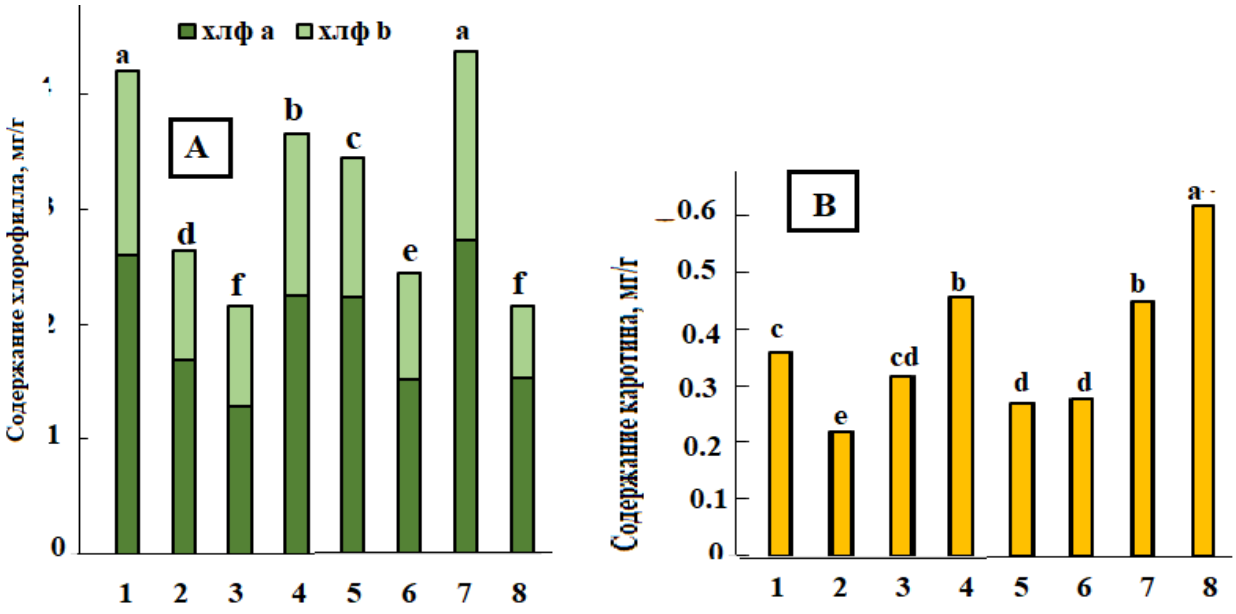

Рис. 1. а) Сравнение уровней накопления хлорофилла (А) и каротина (В) сельдереем корневым (1), черешковым (2), листовым (3), мицубой (4), петрушкой корневой (5), листовой (6), лесным купырем (7), кервелем (8) (2020-2021)

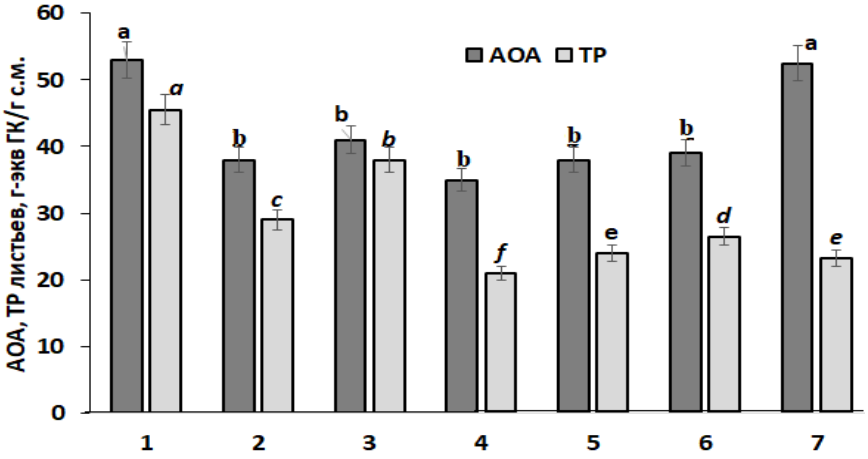

Рис. 2. Сравнение общей антиоксидантной активности (АОА) и содержания полифенолов (ТР) петрушки (1), кервеля (2), мицубы (3), сельдерея листового (4), черешкового (5), корневого (6) и лесного купыря (7) (2020-2021)

Данные рис.2 показывают, что уровень АОА среди исследованных видов наибольший у петрушки и лесного купыря и статически не различается для кервеля, мицубы и сельдерея. Напротив, по содержанию полифенолов кервель занимает третье место после мицубы и петрушки. Таким образом, садовый кервель и купырь лесной являются перспективными источниками антиоксидантов. Из 3х исследованных сортообразцов кервеля наибольшие уровни аскорбиновой кислоты и ТР были характерны для сортообразца 24-20 (76.4 мг/100 г и 11.88 мг-экв ГК/г с.м), наименьшие - для сортообразца 22-20 (35.2 мг/100 г, 8.72 мг-экв ГК/г с.м.).

3.3. Антиоксидантный статус семян сельдерейных культур

Комплексная оценка антиоксидантного статуса семян сельдерейных культур выявила наибольшие показатели АОА и ТР у любистка и аниса и наименьшие у кервеля (Рис.3).

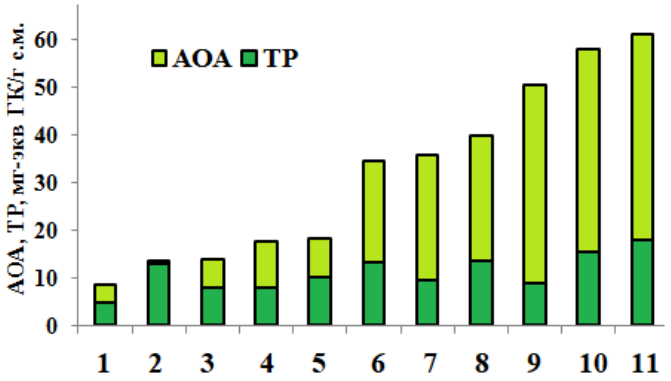

Рис. 3. Антиоксидантный статус семян сельдерейных культур: кервеля (1), тмина (2), моркови (3), кориандра (4), пастернака (5), фенхеля (6), укропа (7), сельдерея (8), петрушки (9), аниса (10), любистка (11) (2020-2021)

Несмотря на генетические различия между представителями сельдерейных культур была установлена прямая корреляция между содержанием в семенах полифенолов и уровнем общей АОА (r=+0.790; p<0.001; n=43).

3.4. Обогащение селеном

Внекорневое внесение разных доз селената натрия при выращивании трех сортообразцов кервеля позволило выявить значительные межсортовые различия в аккумулировании селена, малую пригодность сортообразца 22-20 для условий обработки селеном и установить оптимальную концентрацию Se-25 мг/л (рис.4). Кервель характеризовался наибольшей прибавкой урожая при обработке селеном по сравнению с мицубой и петрушкой. Полученные результаты свидетельствовали о существовании прямой корреляции между АОА и ТП в кервеле (r=+0.954; P<0.01).

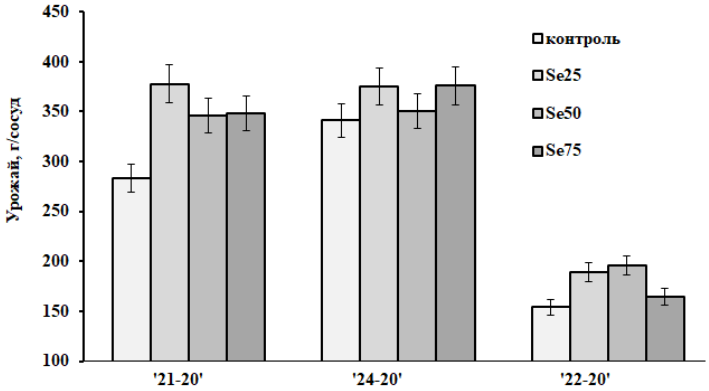

Рис. 4. Межсортовые различия влияния селената натрия на урожай кервеля (2020-2022)

Оценка качества семян контрольных и обогащенных растений кервеля выявила отсутствие ингибирующего действия селената натрия на массу семян, величину всхожести и энергию прорастания при двукратном увеличении общей антиоксидантной активности, 1.5-кратном возрастании содержании полифенолов и 47 кратном - Se (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика контрольных и обогащенных Se семян кервеля (сортообразец 21-20) (2021-2022)

Показатель	Контроль	Se
Масса 1000 семян, г	1.893a	1.803a
Величина всхожести семян (14 день посева), %	91.5a	92.1a
Энергия прорастания семян (10 день посева), %	63.0a	69.0a
Содержание Se, мкг/кг с.м	110b	5170a
АОА, мг ГКЭ/г с.м.	8.3b	16.8a
ТР, мг ГКЭ/г с.м.	4.6b	7.2a

Учитывая антиоксидантные свойства соединений селена, представляется очевидным, что семена обогащенного Se кервеля можно рассматривать как новый функциональный продукт питания, способный обеспечить 73.8% суточной потребности человека в Se при потреблении 10 г семян.

3.5. Обогащение селеном и йодом

Принимая во внимание известные трудности в совместном обогащении растений Se и I, мы попытались снизить уровень оксидантного стресса у растений при совместной обработке путем использования антистрессового действия Si, используя нано-Si и его ионную форму в составе удобрения Силиплант.

Применение нано-Si в микро дозе 14 мг/л позволило увеличить урожай кервеля в 4.8 раз, в 2.8 раз при совместном использовании нано-Si и иодида калия, в 5.6 раз при совместном применение нано-Si и селената натрия и в 4.0 раза в варианте совместного использования нано-Si, I и Se. В условиях использования нано-Si значительно возрастала и масса корней (в 4.5, 8.7, 13.3, 10.0 раз соответственно). Ростостимулирующий эффект раздельного и

совместного применения Se и I без добавок нано-Si был менее выражен и достигал 2.7 раз при обработке растений селенатом, 3.5 раз при использовании иодида и 3.6 раз при совместном внесении Se и I при соответствующем возрастании массы корней в 1.6, 3.1 и 8.6 раз соответственно (рис.5).

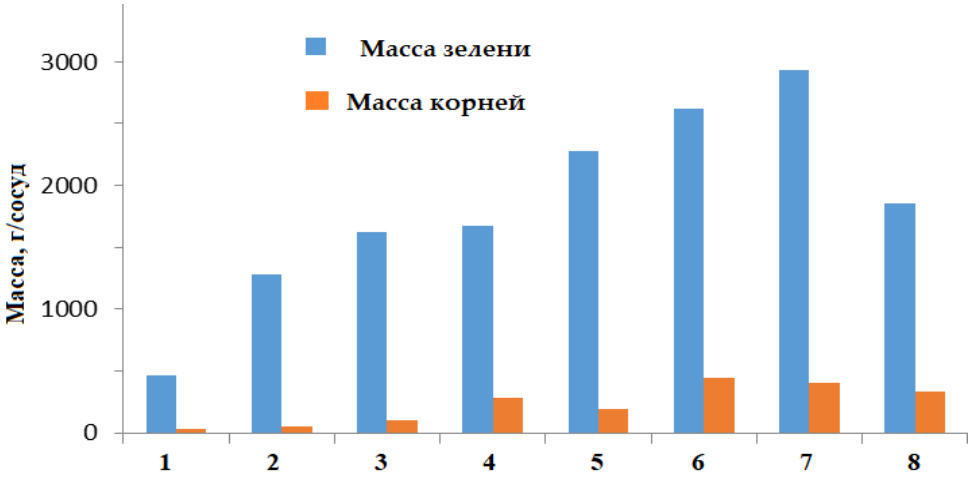

Рис. 5. Масса наземной части и корней кервеля в условиях обогащения растений I и Se: (1) контроль, (2) Se, (3) I, (4) Se+I, (5) нано-Si, (6) нано-Si+Se, (7) Se+I, (8) нано-Si+I+Se (2021-2022)

Данные табл.3 показывают, что нано-Si стимулирует накопление кервелем I вдвое, в то время как I и Se взаимно усиливают эффективность обогащения.

Таблица 3. Уровни Se, I и Si в листьях кервеля при раздельном и совместном использовании этих элементов (в мг/кг сухой м.) (2020-2022)

Обработки	Se	I	Si
Контроль	0.23 ± 0.02 f	0.20 ± 0.02 e	20.59 ± 2.05 ab
Se	3.75 ± 0.32 ab	2.50 ± 0.21 c	23.81 ± 2.34 a
I	0.80 ± 0.07 c	16.00 ± 1.59 b	21.97 ± 2.20 a
Se + I	4.36 ± 0.41 a	15.00 ± 1.51 b	17.22 ± 1.71 b
Нано-Si	0.45 ± 0.04 e	1.50 ± 0.15 d	24.10 ± 2.40 a
Нано-Si + Se	3.73 ± 0.35 ab	1.60 ± 0.15 d	20.14 ± 2.00 ab
Нано-Si + I	0.62 ± 0.06 d	34.00 ± 3.38 a	19.66 ± 2.00 ab
Нано-Si + Se + I	3.07 ± 030 b	35.00 ± 3.51 a	17.16 ± 1.70 b

Значения в столбцах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $P<0.05$

Показательно, что используемые микро - дозы нано-Si не влияли на накопление Si растениями, стимулируя аккумулирование микроэлементов.

Последнее явление было выявлено нами впервые и свидетельствует об эффективности стимулирования роста растений микро дозами нано-Si (рис.6)

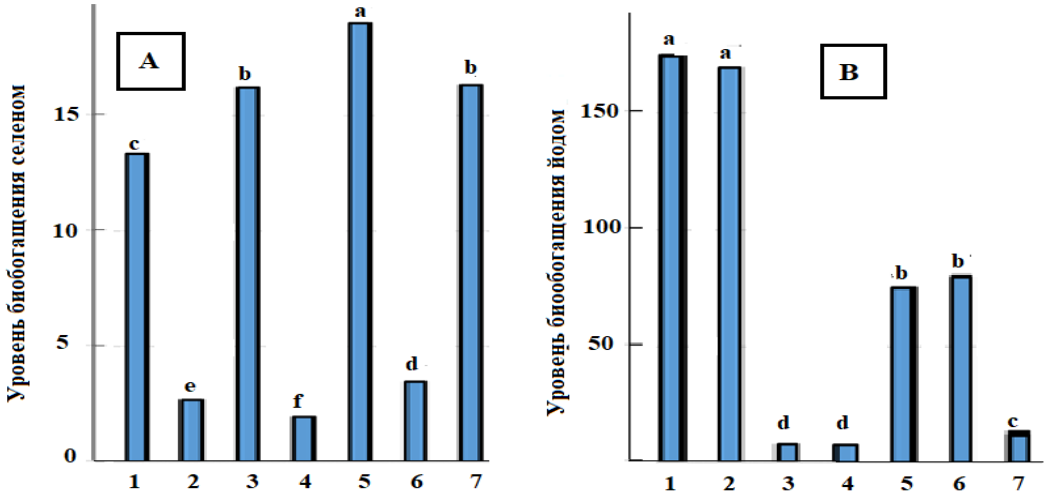

Рис. 6. Уровни биообогащения кервеля Se (A) и I (B): (1) Se+I+Si, (2) I+Si, (3) Se+Si, (4) Si, (5) Se+I, (6) I, (7) Se Значения для каждого показателя с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно данным теста Дункана при P<0.05 (2021-2022)

Данные рис. 6 свидетельствуют о взаимном стимулировании уровней аккумулирования кервелем Se и I.

Положительное действие раздельного и совместного применения Se, I и нано-Si проявлялось также в достоверном снижении уровня нитратов и значительном возрастании содержания в листьях фотосинтетических пигментов (табл. 4).

Таблица 4. Влияние нано-Si на накопление нитратов в контрольных растениях кервеля и в растениях, обогащенных I и/или Se (2020-2022)

Обработки	Хлорофилл (мг/г сырой м.)	Каротин (мг/кг сырой м.)	Нитраты, мг/г сухой м.
Контроль	2.47 ± 0.24 b	0.38 ± 0.04 b	91.0 ± 8.1 a
Se	2.70 ± 0.27 b	0.43 ± 0.04 ab	62 7 ± 5.5 b
I	2.58 ± 0.25 b	0.40 ± 0.04 ab	74.7 ± 6.4 b
Se + I	3.08 ± 0.31 ab	0.46 ± 0.04 a	62.7 ± 5.0 b
Нано-Si	3.11 ± 0.31 a	0.48 ± 0.05 a	49.3 ± 4.0 c
Нано-Si + Se	3.30 ± 0.33 a	0.48 ± 0.05 a	29.3 ± 2.1 d
Нано-Si + I	3.22 ± 0.32 a	0.43 ± 0.04 ab	66.7± 5.5 b
Нано-Si + Se + I	3.12 ± 0.31 a	0.49 ± 0.05 a	17.3 ± 1.1 e

Внекорневое внесение нано-Si по сравнению с раздельной обработкой растений Se и I снижало уровень накопления ионов Na растениями, восстанавливало аккумулирования Fe, Mn и Cr. Впервые установлены значимые взаимосвязи между Mn, Fe, Co, V, Cr в растениях, обработанных нано-Si, Se и I (рис.7).

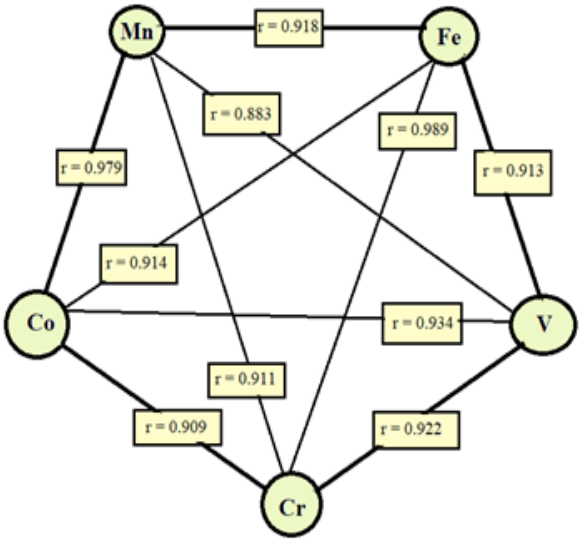

Рис. 7. Корреляционные взаимосвязи между элементами кервеля в условиях обработки Se, I и нано-Si ($p < 0.001$).

По сравнению с нано-Si ионная форма элемента в составе удобрения Силиплант проявляла более слабый ростостимулирующий эффект как без, так и при совместном внесении с Se и I (рис.8), не влияла на накопление фотосинтетических пигментов и нитратов, однако, обеспечивала значительное положительное влияние на антиоксидантный статус растений (рис.9).

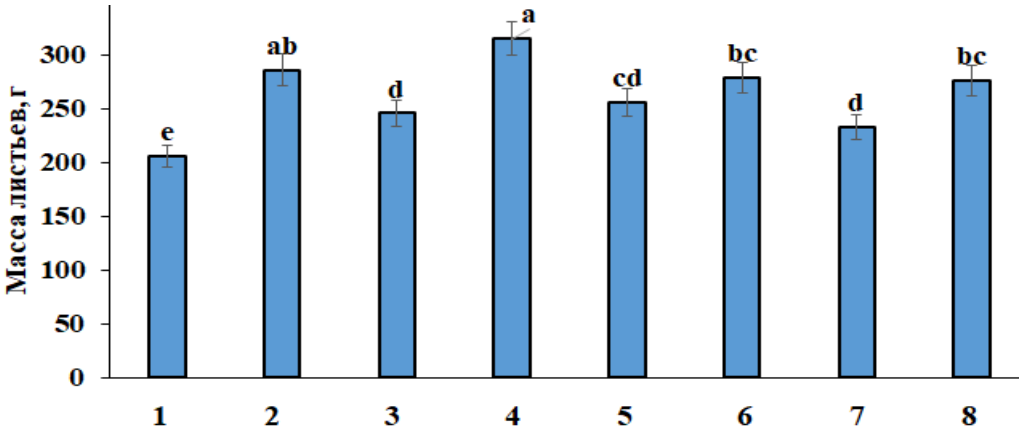

Рис.8. Влияние ионной формы Si в составе удобрения Силиплант на урожай кервеля без и на фоне внесения Se и/или I (2021-2022). (1) контроль, (2) Se, (3) I, (4) Se+I, (5) Si, (6) Si+Se, (7) Si+Se+I

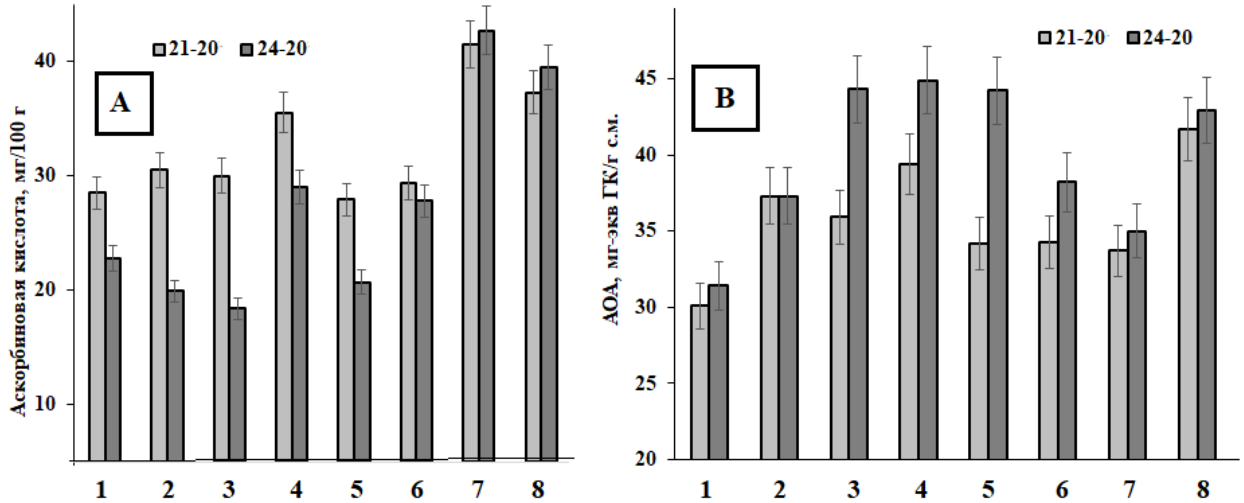

Рис. 9. Уровни аскорбиновой кислоты (А) и АОА (В) при обогащении кервеля Se и I на фоне внесения ионной формы Si (2020-2022). (1) контроль, (2) Se, (3) I, (4) Se+I, (5) Si, (6) Si+Se, (7) Si+I, (8) Si+Se+I

Сравнение эффективности использования разных форм Si (ионной и нано формы) в технологии обогащения кервеля I и Se показало более высокий ростостимулирующий эффект нано-Si, более интенсивное стимулирование накопления I и Se, фотосинтетических пигментов и содержания жирорастворимых антиоксидантов, а также интенсивное снижение аккумулирования нитратов продукцией (табл.5). Напротив, использование ионной формы Si в отличие от нано-Si интенсивно стимулировало биосинтез аскорбиновой кислоты.

Таблица 5. Сравнительная оценка эффективности использования ионной (Силиплант, 3 мл/л) и нано формы Si (14 мг/л) в совместном обогащении кервеля I и Se (изменение показателей по сравнению с контролем)

Показатель	Нано-Si (Se -10 мг/л; I -150 мг/л)	Ионная форма Si (Se -10 мг/л; I -100 мг/л)
Урожай	3.94	1.29
Se	13.3	5.4
I	175.0	91.5
Нитраты	0.19	1.13*
Хлорофилл	1.26	0.99*
Каротин	1.29	1.08*
АОА	1.49	1.38
ТР	1.57	1.17*
Аскорбиновая кислота	0.86*	1.49

*различия с контролем не достоверны

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования кервеля, обогащенного Se и I, как функционального продукта питания, способного обеспечить поступление в организм человека 15-22 мкг Se и 75-80 мкг I (21-31% и 60-64% от суточной потребности соответственно Se и I) при потреблении 50 г свежей зелени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Создан новый сорт кервеля Огородник, характеризующийся высокой урожайностью и товарностью продукции, сильной ароматичностью, значительным содержанием витамина С и высокой антиоксидантной активностью.
2. Листья кервеля более богаты каротином по сравнению с петрушкой, мицубой, сельдереем и лесным купырем и практически не отличаются по уровню общей АОА от листьев петрушки и мицубы.
3. Среди сельдерейных культур кервель имеет наиболее низкий уровень АОА семян, однако, последний возрастает вдвое при обогащении селеном.
4. Оптимальная доза селената натрия при внекорневом обогащении кервеля составляет 25 мг/л и является более эффективной в увеличении урожая, чем при использовании на мицубе и петрушке.
5. При внекорневой обработке кервеля растворами селената натрия и иодида калия I и Se взаимно усиливают аккумулирование друг друга.
6. Микродозы нано-Si обладают ростостимулирующим эффектом, усиливают накопление Se и I, хлорофилла, полифенолов и повышают АОА на фоне снижения уровней нитратов.
7. Ионная форма Si в составе удобрения Силиплант обладает менее выраженным ростостимулирующим действием по сравнению с нано-Si, более слабым стимулированием накопления Se и I, полифенолов и жирорастворимых антиоксидантов, однако, в полтора раза активирует биосинтез аскорбиновой кислоты

8. Установлены достоверные корреляционные взаимосвязи между Fe, Mn, Co, V и Cr в растениях кервеля, обогащенного I и Se и между содержанием полифенолов и АОА (r>0.9).

9. Созданы новые функциональные продукты питания: кервель, обогащенный Se и I, обеспечивающий при потреблении 50 г свежей зелени поступление в организм человека 21-31% и 60-64% суточной потребности соответственно Se и I, а также семена кервеля, обогащенного Se, 10 г которых обеспечивают 73.8% суточной потребности человека в Se.

РЕКОМЕНДАЦИИ

Рекомендуется использовать для выращивания созданный и включённый в 2022 году в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, сорт кервеля Огородник, сочетающий высокую продуктивность, ценных биохимический состав и товарность продукции.

Рекомендуется инновационная технология внекорневого обогащения кервеля Se и I с использованием ионной и нано форм Si для создания новых функциональных продуктов питания, повышения урожая и содержания антиоксидантов в обогащенном продукте.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

публикации в журналах Scopus и Web of Science

1. Moldovan, A.I. Yield, Growth, Quality, Biochemical Characteristics and Elemental Composition of Plant Parts of Celery Leafy, Stalk and Root Types Grown in the Northern Hemisphere / N. Golubkina, V. Kharchenko, A. Moldovan, A. Koshevarov, S. Zamana, S. Nadezhkin, A. Soldatenko, A. Sekara, A. Tallarita, G. Caruso // Plants. – 2020. – Vol. 9. – № 4. – P. 484. DOI: 10.3390/plants9040484.

2. Moldovan, A.I. Joint Biofortification of Plants with Iodine and Selenium: a New Field of Discoveries / N. Golubkina, A. Moldovan, H. Kekina, V. Kharchenko, A. Sekara, V. Vasileva, L. Skrypnik, A. Tallarita, G. Caruso // Plants. – 2021. – Vol. 10. – P. 1352. DOI: 10.3390/plants10071352.

3. Moldovan, A.I. Nutritional Value of Apiaceae Seeds as Affected by 11 Species and 43 Cultivars Horticulturae / N. Golubkina, V. Kharchenko, A. Moldovan, V. Zayachkovsky, V. Stepanov, V. Pivovarov, A. Sekara, A. Tallarita, G. Caruso // Horticulturae. – 2021. – Vol. 7. – P. 57. DOI: 10.3390/horticulturae7030057.

4. Moldovan, A.I. Iodine and Selenium Biofortification of Chervil Plants Treated with Silicon Nanoparticles / N. Golubkina, A. Moldovan, M. Fedotov, H. Kekina, V. Kharchenko, G. Folmanis, A. Alpatov, G. Caruso // Plants. – 2021. – Vol. 10. – P. 2528. DOI: 10.3390/plants10112528.

5. Moldovan, A.I. Effect of Selenium and Garlic Extract Theftments of Seed-Addressed Lettuce Plants on Biofortification Level, Seeds Productivity and mature Plant Yield and Quality / N. Golubkina, V. Kharchenko, A. Moldovan, M. Antoshkina, O. Ushakova, A. Sekara, V. Stoletu, o.C. Murariu, A.V. Tallarita, M. Sannino, G. Caruso // Plants. – 2024. – Vol. 13. – № 9. – P. 1190. DOI: 10.3390/plants13091190.

6. Moldovan, A.I. Antioxidant Status of *Anthriscus, Chaerophyllum,* and *Myrrhoides* species and Prospects of Utilization / N. Golubkina, V. Kharchenko, E. Krainyuk, L. Riff, V. Lapchenko, H. Lapchenko, A. Moldovan, U. Plotnilova, O.C. Murariu, G. Caruso // Phyton – International Journal of Experimental Botany. – 2025. – Vol. 94. - № 12. - Pp. 4139-4153. DOI: 10.32604/phyton.2025.072328.

публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Молдован, А.И. Антиоксидантный статус сельдерея (*Apium graveolens* L.) / В.А. Харченко, А.И. Молдован, Н.А. Голубкина, А.А. Кошеваров, Д. Карузо // Овощи России. – 2020. – № 2. – С. 82-86. DOI: 10.18619/2072-9146-2020-2-82-86.

2. Молдован, А.И. Сравнительная оценка содержания некоторых биологически активных соединений в лесном купыре *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm. и садовом кервеле *Anthriscus cerefolium* (L.) Hoffm. / В.А. Харченко, А.И. Молдован, Н.А. Голубкина, М.С. Гинс, Д.Р. Шафигуллин // Овощи России. – 2020. – № 5. – С. 81-87. DOI: 10.18619/2072-9146-2020-5-81-87.

3. Молдован, А.И. Генетические особенности накопления макро- и микроэлеменнтов корнеплодами сельдерея (*Apium graveolens L.*) и пастернака (*Pastinaca sativa L.)* / Н.А. Голубкина, В.А. Харченко, А.И. Молдован, В.А. Заячковский, В.А. Степанов, А.В. Солдатенко // Микроэлементы в медицине. – 2020. – № 21(1). – С. 45−54. DOI: 10.19112/2413-6174-2020-21-1-45-54.

4. Молдован, А.И. Обогащение кервеля селеном / В.А. Харченко, Н.А. Голубкина, А.И. Молдован, Д. Карузо // Овощи России. – 2021. – № 1. – С. 79-86. DOI: 10.18619/2072-9146-2021-1-79-86.

5. Молдован, А.И. Внекорневое обогащение кервеля селеном и йодом на фоне использования микроудобрения Силиплант, содержащего кремний / А.И. Молдован, В.А. Харченко, Н.А. Голубкина, Е.Г. Кекина, Д. Карузо // Овощи России. – 2022. - № 2. – С. 5-10. DOI: 10.18619/2072-9146-2022-2-57-64.

6. Молдован, А.И. Сравнительная оценка антиоксидантного статуса и содержания селена в семенах цикория (*Cichorium intybus* L.) и некоторых представителей сельдерейных культур / Н.А. Голубкина, В.А. Заячковский, И.В. Смирнова, О.М. Вьютнова, В.А. Харченко, А.И. Молдован, Ю.П. Шевченко // Овощи России. – 2021. – № 5. – С. 69-74. DOI: 10.18619/2072-9146-2021-5-69-74.

7. Moldovan, A.I. Effect of sodium selenate foliar supplementation on *Cryptotaenia japonica* and *Petroselinum crispum* nutiritional characteristics and seed quality / V. Kharchenko, A. Moldovan, Z. Amagova, V. Matsadze, N. Golubkina, G. Caruso // Vegetable crops of Russia. – 2022. – № 4. – P. 65-72. DOI: 10.18619/2072-9146-2022-4-65-72.

8. Молдован, А.И. Влияние условий приготовления и хранения на показатели антиоксидантной активности чипсов из корнеплодов сельдерея, пастернака и петрушки / В.А. Харченко, Н.А. Голубкина, А.И. Молдован, В.И. Терешонок, В.А. Заячковский, М.С. Антошкина, В.А. Степанов, Л.В. Павлов // Овощи России. - 2024. – № 1. - С. 20-25. DOI: 10.18619/2072-9146-2024-1-20-25.

монографии

1. Moldovan, A.I. Nutritional Value of Apiaceae Seeds as Affected by 11 Species and 43 Cultivars Reprinted (from: Horticulturae. – 2021. – Vol. 7. – P. 57, doi:10.3390/horticulturae7030057) / N. Golubkina, V. Kharchenko, A. Moldovan, V. Zayachkovsky, V. Stepanov, V. Pivovarov, A. Sekara, A. Tallarita, G. Caruso // in "Nutritive Value, Polyphenolic Content, and Bioactive Constitution of Green, Red and Flowering Plants". - mdpi Basel Switzerland. – P. 53-69.

патенты

1. Молдован, А.И. Патент на селекционное достижение № 12414 Кервель *Anthriscus cerefolium* L. Огородник / Н.А. Голубкина, Е.Л. Курбаков, А.И. Молдован, А.В. Солдатенко, В.А. Харченко, Ю.П. Шевченко. - 15.09.2022.

публикации в прочих изданиях

1. Молдован, А.И. Обогащение проростков *Anthriscus cerefolium* селеном и йодом / А.И. Молдован, В.А. Харченко, Е.Г. Кекина, Н.А. Голубкина, П.А. Полубояринов // В сб.: Фундаментальные основы биогеохимических технологий и перспективы их применения в охране природы, сельском хозяйстве и медицине. Труды XII Межд. биогеохимической школы, посвященной 175-летию со дня рождения В. В. Докучаева. Тула, 2021. - С. 291-294.
2. Молдован, А.И. Перспективы использования дикого кервеля в качестве ценного пищевого продукта, источника антиоксидантов и исходного материала в селекционных процессах / А.И. Молдован, В.А. Харченко, Н.А. Голубкина // Тезисы международной научно-практической конференции «Ароматические и лекарственные растений: интродукция, селекция, агротехника, биологически активные вещества, влияние на человека». Никитский ботанический сад. - Национальный научный центр РАН. Симферополь, 2021. – С. 22.
3. Молдован, А.И. Зеленые и пряно-вкусовые культуры, обогащенные селеном, как приправа функционального назначения / В.А. Харченко, А.И. Молдован, З.А. Амагова, М.С. Антошкина, А.А. Кошеваров, Т.М. Середин,

Н.А. Голубкина // Агробиотехнология-2021: материалы Межд. научной конф./Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева, ред. В.И. Трухачева, А.В. Шитикова. Москва: 2021. – С. 759-762.

4. Moldovan, A.I. Obtaining dietary functional foods based on celery, parsley and parsnip roots from the Celery family / A.I. Moldovan, N.A. Golubkina, V.A. Kharchenko // Int. Conf. on multidisciplinary Studies. – 2022. – P. 25-27.

5. Молдован, А.И. Использование семян сельдерейных культур в питании человека в качестве источника антиоксидантов и водорастворимых белков / А.И. Молдован, В.А. Харченко, Н.А. Голубкина // Сборник тезисов 25-ой Пущинской школы-конференции молодых ученых с международным участием «Биология – наука XXI века». - Пущино: ФИЦ ПНЦБИ РАН, 2022. – С. 173. ISBN 978-5-91874-907-4.

6. Молдован, А.И. Влияние селена на накопление тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями / М. Антошкина, Н. Голубкина, В. Харченко, А. Молдован, З. Амагова, Л. Логвиненко, П. Полубояринов // Сборник Международной конференции «Проблемы загрязнения объектов окружающей среды тяжелыми металлами», 28-20 сентября 2022. – С. 175-179.

7. Молдован, А.И. Чипсы из корнеплодов сельдерея, пастернака и петрушки ОСТ 45727225-70-2021 Стандарты организации на семена, ТТПР их производства и овощную продукцию / Л.В. Павлов, Н.А. Голубкина, В.А. Харченко, В.И. Терешонок, А.И. Молдован // ФГБНУ ФНЦО, под ред. Пивоварова В.Ф. 2023. – Вып.4. – С.315-325.

8. Молдован, А.И. Огородник – новый сорт кервеля садового / А.И. Молдован, В.А. Харченко, Н.А. Голубкина // Известия ФНЦО. – 2023. – № 4. - С.28-34.